#### ÉNERGIE 2050

Analyses et propositions

Par Yves Guaripy

**1. Energies éoliennes et photovoltaïques.**

1.1 Leur contribution maximum est de 4%

En France métropolitaine, l’ensoleillement moyen est de 1900 heures par an, soit 950 heures équivalentes plein soleil, 11% des 8760 heures d’une année (9,5% en Allemagne).

Le facteur de charge de l’éolien a été de 23% en 2008 et 2009, d’après le bilan de RTE (19% en Allemagne)

Au total, ces deux énergies ne peuvent donc fonctionner au maximum que 32% du temps (27% en Allemagne).

La fourniture instantanée de ces énergies  dites « fatales » est limitée par la loi à 30% de la production. La contribution maximum de ces deux moyens est donc de 32% x 30% = 10% de la consommation totale. En Allemagne, malgré des investissements massifs, la production n’a été en 2010 que de 1,9% en photovoltaïque et 5,9% en éolien (soit 7,8% de la consommation totale).

L’énergie électrique représentant 40% de l’énergie totale, la part des énergies éoliennes et photovoltaïques ne peut excéder 10% x 40% = **4%** de la consommation énergétique totale de la France.

Note Sans possibilité de stockage de l’électricité, on ne peut augmenter le taux d’énergie fatale que par deux moyens seulement : les barrages à lac et les turbines à gaz. Cas maximum du Danemark : la production d’électricité d’origine éolienne est de 20% du total, ce qui correspond au facteur de charge moyen de l’éolien de ce pays. Le taux d’énergies fatales est donc voisin de 100%. Un tel ratio n’est possible que par la disponibilité des barrages à lac de la Norvège, utilisés pour compenser intégralement l’irrégularité de l’éolien danois. Mais ceci n’empêche pas le Danemark de consommer du charbon pour 59% de sa production électrique.

1.2 Elles produisent à contretemps

En photovoltaïque, la production est pratiquement nulle à l’heure de la pointe quotidienne (19h). Elle est 5 fois inférieure en décembre par rapport à juin (France métropolitaine).

En éolien, les besoins maximum en énergie électrique surviennent en périodes anticycloniques (froides en hiver, chaudes en été), quand le vent est le plus faible. Voici l’appréciation de RWE (2ème producteur allemand d’électricité), dans son rapport «  Power Generation in Europe – Facts & Trends » décembre 2009 : “*Not only is wind volatile, but most of the time it is not there when it is urgently needed* “

1.3 Elles ne permettront qu’un faible remplacement d’énergies fossiles

Actuellement, les énergies nucléaire et hydraulique fournissent près de 90% du besoin, couvrant la production de « base ». Le solde correspond à la « semi-base », alimentée par le charbon, et la « pointe », alimentée par le gaz. Or les énergies photovoltaïque et éoliennes produisent surtout pendant les périodes de « base », et ne permettent donc qu’un faible remplacement des énergies fossiles.

1.4 Elles ne permettent aucune économie d’investissement

Quand le renouvelable ne produit pas, les autres moyens doivent assurer la production à tout moment, sans délai, ce qui ne permet pas de faire l’économie de ces moyens de production.

1.5 Leur coût marginal est 87 fois supérieur à celui du nucléaire

Une évaluation du coût du renouvelable peut être le prix effectivement payé par la collectivité pour ces énergies. Ce prix inclut le coût complet de production, ainsi que la marge du producteur.

En éolien, la majorité des futures installations sera marine, avec un prix de vente à EDF de 130 €/MWh. En photovoltaïque, le MWh est acheté par EDF en moyenne 350 €. Avec un mix 20% photovoltaïque/80% éolien, le prix d’achat moyen par EDF sera de **174 €/MWh**.

On peut estimer un majorant du coût du nucléaire à 40 €/ MWh, qui est le prix de vente actuel imposé à EDF par la loi Nome.

Le remplacement d’un kWh nucléaire par un kWh renouvelable ne permet d’économiser pratiquement que du combustible nucléaire. Le caractère intermittent et imprévisible du renouvelable ne permet pas de faire des économies de personnel dans les centrales nucléaires, ni de supprimer des centrales nucléaires. Le coût du combustible nucléaire est de 5% du prix de revient, soit moins de **2€/ MWh** (1/87 ème du coût du renouvelable).

1.­6 Leur surcoût est important

Par rapport au nucléaire, leur surcoût est de : . Grenelle de l’environnement : **4,8** milliards d’euros par an . Maximum possible d’énergies renouvelables (4% du total de l’énergie) : **10,3** Md€/an

**2. Hydrogène**

2.1 L’hydrogène est moins dangereux que le GPL … voire que l’essence

L’hydrogène est certes 3 fois plus énergétique que l’essence, et a un pouvoir explosif plus élevé. Mais il est 15 fois plus léger que l’air, et ses molécules sont les plus petites. Il s’évacue donc rapidement vers la haute atmosphère s’il n’est pas dans un milieu strictement confiné. En pratique, son explosion à l’air libre est pratiquement impossible. Son incendie à l’air libre est bien moins dangereux que celui de l’essence (voir photos d’incendies comparés de voitures à essence et à hydrogène, publiées par « Hydrogène, énergie de demain ? », Omnisciences). L’hydrogène est utilisé en France depuis 1803, date d’inauguration à Paris du premier « bec de gaz », qui utilisait le « gaz de ville », mélange par moitiés de CO et H2 (remplacé par le gaz naturel dans les années 1960).

2.2 Le plein d’hydrogène en self-service ne pose pas de problème

C’est ce qu’a montré notamment l’expérimentation pendant 3 ans sur 11 prototypes BMW série 7, dont le plein en hydrogène était fait en self-service à partir d’une station fournie par Total. Voir aussi l’autoroute de l’hydrogène en Norvège, et au Japon.

2.3 Le stockage embarqué de l’hydrogène ne pose pas de problème

Il faut retenir la solution réservoir en fibre de carbone, avec gaz comprimé à 700 bars. Cette technique a reçu une impulsion décisive après le succès du projet européen StorHy, présenté par le CEA dans les locaux de PSA en juin 2008, et dont l’industrialisation se poursuit (l’objectif étant de faire passer le coût d’un réservoir de 150 litres de 1000 à 300 euros d’ici 2015). Le réservoir utilise une coque en fibre de carbone, et un « liner » en polymère innovant, qui assure l’étanchéité. Elle a satisfait aux trois principaux critères du cahier des charges :   
- Durée de vie : 15 000 cycles de remplissage (20-875 bars) sans perte notable de propriétés (norme en vigueur)   
- Etanchéité : taux de fuite au minimum 20 fois inférieur à la valeur demandée par la norme (1cm3/L/h)   
- Sécurité : les réservoirs ont démontré leur résistance à des pressions internes supérieures à la pression d’éclatement fixée par la norme (1645 bars, près de 2,5 fois la pression de service).

Un tel réservoir de 150 litres assurerait une autonomie de 700 km.

2.4 Il faut utiliser un moteur à hydrogène à explosion

Et non une Pile à Combustible (« PAC ») à hydrogène. En effet, cette pile reste chère à cause de l’électrolyte à polymère, et surtout du platine indispensable comme catalyseur : si on devait équiper tous les nouveaux véhicules de PAC, il faudrait multiplier par 15 la production mondiale actuelle de platine.

Le rendement énergétique de cette solution thermique serait du même ordre qu’avec le pétrole ou la PAC. BMW affirme qu’en adaptant un moteur diesel (en rajoutant un allumage par étincelle), on obtient un rendement de 42%, meilleur qu’en turbo-diesel, et pas éloigné des 50% de la PAC.

2.5 La distribution de l’hydrogène ne pose pas de problème

Deux solutions sont possibles :

(1) Utiliser le réseau GDF. Celui-ci dessert 77% des foyers français. On peut dès maintenant mélanger de l’hydrogène avec du gaz naturel, formant un nouveau gaz baptisé « hythane », qui pourrait un jour être composé de « gaz de ville » obtenu à partir de déchets et de la biomasse cellulosique (réaction de Fischer Tropsch), et d’hydrogène pour le complément. Mais on ne peut injecter dans le réseau existant de l’hydrogène pur, qui corroderait les canalisations métalliques. Il faudrait changer ces tuyaux, une opération qui peut se révéler justifiée à terme, quand le gaz naturel sera devenu rare donc cher.

(2) Générer l’hydrogène par électrolyse sur le site même de distribution de l’hydrogène : garage de particulier, ou station-service. Cette électrolyse ne nécessite que de l’électricité et de l’eau, dont les réseaux existants desservent la totalité du territoire national. Evidemment, cette solution nécessite de construire de nouveaux moyens de production d’électricité, et de renforcer le réseau électrique. Un réseau électrique « intelligent » permettra d’optimiser son utilisation pour le remplissage des stocks d’hydrogène, réduisant les renforcements nécessaires de ce réseau et le nombre de nouvelles centrales nucléaires.

Le seul électrolyseur envisageable est l’électrolyseur bipolaire (l’électrolyseur PEM ayant les mêmes inconvénients que la pile à combustible). Le rendement de ces électrolyseurs est de l’ordre de 70% (General Electric a annoncé un modèle à 77% de rendement).

Les stations-service devront être équipées d’un stockage modulaire en hauteur (pour économiser la surface de stockage au sol) de réservoirs en fibre de carbone, et d’électrolyseurs modulaires également, pour s’adapter à la croissance progressive de la demande. L’alimentation électrique des équipements d’électrolyse devra être en moyenne ou haute tension pour les stations-services, en 230V ou 380V-triphasé pour les particuliers.

2.6 L’électricité nécessaire sera fournie par le renouvelable et de nouvelles centrales nucléaires

Le photovoltaïque et l’éolien pourraient assurer en totalité les besoins nouveaux d’électricité, grâce au stockage de l’hydrogène. Mais c’est une solution plus coûteuse que le nucléaire (cependant, pour les îles ensoleillées pour lesquelles un EPR serait surabondant, l’option 100% renouvelable pour la génération de l’hydrogène serait logique). Les besoins en nouveaux EPR seulement (sans renouvelable) pour la France continentale résulteraient du calcul suivant :

. Pétrole pour le transport en 2009 : 47 MTEP

. Énergie remplacement par hydrogène : (47/0,7) x 1,1 = 74 MTEP

. Production actuelle d’électricité nucléaire: 96 MTEP

. Nombre d’EPR nécessaires pour remplacer le pétrole: **25**

2.7 L’hydrogène est déjà moins cher que les produits pétroliers, tout en conservant les mêmes taxes

Voici le calcul du coût de l’équivalent hydrogène d’un litre d’essence (vendu actuellement **1,54 €/l**):

1 litre essence = 3107 litres H2  8,67 kWh

/ 0,7 rendement électrolyse 12,39 kWh

X 1,1 compression à 700 bars 13,63 kWh

Tarif vert EDF (hors pointe hiver) : 0,042 €/kWh 0,57 €/l

TVA 0,11 €/l

TIPP 0,61 €/l

Amortissement station 0,10 €/l

Total **1,39 €/l**

Par rapport à la voiture électrique, le véhicule à hydrogène permettrait à l’Etat les gains suivants (en supposant une pénétration de 10% du véhicule électrique) :

. La prime à l’achat des véhicules électriques : **1 Md €/an** . La TIPP, qui n’est pas versée par les voitures électriques : **2,5 Md €/an** à partir de 2020

2.8 Retombées économiques de l’hydrogène

En remplaçant l’achat extérieur du pétrole du transport (55% du pétrole) par une fabrication locale d’hydrogène, on créerait une activité économique supplémentaire. Pour un cours du pétrole de 160$/baril, on peut évaluer un supplément de valeur ajoutée de l’ordre de 50 milliards d’euros par an, le montant de l’impôt sur le revenu.

Il n’est pas douteux que cette solution ferait école dans d’autres pays (il n’y a guère d’autres moyens efficaces de compenser la pénurie de pétrole pour le transport routier et maritime), ce qui permettrait une exportation du savoir-faire et de produits français dans le nucléaire, les véhicules, les électrolyseurs, la distribution d’hydrogène …

**3. Nucléaire**

3.1 L’effet Fukushima

Les évènements de Fukushima ont contribué à fortement discréditer le nucléaire. Sans nier la dangerosité de cette technique, on peut faire les remarques suivantes :

. l’accident nucléaire a pour origine un évènement exceptionnel, propre au Japon

. les sécurités prévues en cas de séisme ont bien fonctionné malgré une intensité du séisme 4 fois plus forte que la valeur retenue pour le dimensionnement de la centrale. C’est la hauteur de la vague du tsunami qui a dépassé le mur de protection, noyant les groupes électrogènes, qui a causé l’accident

. d’après Anne Lauvergeon, il n’y aurait pas eu de fuite radioactive avec l’EPR

. le tsunami a été une terrible catastrophe, détruisant toute une région, et faisant 30 000 morts. Fukushima doit être classé comme accident grave. Il n’y a pas eu de morts, et l’irradiation a été limitée : pour un taux maximum admissible de 250 mSv par personne, 3 opérateurs ont eu des doses de 170 mSv et 18 de plus de 100 mSv.

. L’autorité de sûreté nucléaire japonaise a été bafouée par l’opérateur TEPCO. En France, la loi garantit son indépendance

. Un tribut est hélas à payer pour bénéficier du progrès technique. Mais il n’est pas pire pour le nucléaire que pour d’autres techniques : l’extraction du charbon fait aujourd’hui en Chine 3 000 morts par an.

3.2 La suite de l’EPR

Le nucléaire va probablement s’imposer largement, ce qui génèrera une pénurie d’uranium. On doit cependant pouvoir compter au moins sur une génération d’EPR, soit 60 ans.

Le surgénérateur devra prendre la relève. Une technologie plus complexe et risquée que l’EPR.

Une option doit être considérée : le thermonucléaire pour la prochaine génération. Les difficultés principales de cette technique sont:

. la stabilité du plasma. L’objectif d’ITER est de 1000 secondes. A ce jour, les performances suivantes ont été atteintes :

JET (UK) 2 secondes Tore Supra (Cadarache) 390 secondes

. le bombardement neutronique intense, qui détériore les matériaux, notamment les enroulements supraconducteurs. Le laboratoire de physique des plasmas de Princeton (USA) indique avoir obtenu une bonne protection, avec une double barrière de lithium solide-liquide, qui a comme autre avantage de stabiliser le plasma.

Il serait souhaitable qu’en parallèle d’ITER, la France mène son propre projet. Les grands projets internationaux (comme les projets spatiaux) ont des inconvénients : difficulté de décision, lourdeurs et retards, exigence des pays contributeurs d’un retour proportionnel de tâches… En cas de réussite d’un projet national, l’exportation de cette solution pourrait représenter un revenu, donc une activité, considérable.